

ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES ET INDUSTRIELLES

491

SYSTÈMES DE RÉFÉRENCE
ET MOUVEMENTS

(Physique relativiste)

PAR

Augustin SESMAT

Professeur d'Histoire et de Critique des Sciences
à l'Institut Catholique de Paris

11. 7. 37

VI

LES SYSTÈMES PRIVILÉGIÉS
DE LA THÉORIE GÉNÉRALE



PARIS

HERMANN & C^{ie}, ÉDITEURS

6, Rue de la Sorbonne, 6

1937



ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES ET INDUSTRIELLES

PUBLIÉES SOUS LA DIRECTION DE MM.



René AUDUBERT

Directeur de Laboratoire à l'Ecole
des Hautes Etudes

ÉLECTROCHIMIE THÉORIQUE

J.-P. BECQUEREL

Professeur au Muséum d'Histoire Naturelle

OPTIQUE ET MAGNÉTISME AUX TRÈS BASSES TEMPÉRATURES

G. BERTRAND

Membre de l'Institut
Professeur à l'Institut Pasteur

CHIMIE BIOLOGIQUE

L. BLARINGHEM

Membre de l'Institut
Professeur à la Sorbonne

BIOLOGIE VÉGÉTALE

Georges BOHN

Professeur à la Faculté des Sciences

ZOOLOGIE EXPÉRIMENTALE

J. BORDET

Prix Nobel

Directeur de l'Institut Pasteur de Bruxelles

MICROBIOLOGIE

J. BOSLER

Directeur de l'Observatoire de Marseille

ASTROPHYSIQUE

Léon BRILLOUIN

Professeur au Collège de France

THÉORIE DES QUANTA

Louis de BROGLIE

Membre de l'Institut
Professeur à la Sorbonne
Prix Nobel de Physique

I. PHYSIQUE THÉORIQUE

II. PHILOSOPHIE DES SCIENCES

Maurice de BROGLIE

De l'Académie Française
et de l'Académie des Sciences

PHYSIQUE ATOMIQUE EXPÉRIMENTALE

D. CABRERA

Directeur de l'Institut de Physique et Chimie
de Madrid

EXPOSÉS SUR LA THÉORIE DE LA MATIÈRE

E. CARTAN

Membre de l'Institut
Professeur à la Sorbonne

GÉOMÉTRIE

M. CAULLERY

Membre de l'Académie des Sciences
Professeur à la Faculté des Sciences

BIOLOGIE GÉNÉRALE

L. CAYEUX

Membre de l'Institut
Professeur au Collège de France

GÉOLOGIE

A. COTTON

Membre de l'Institut
Professeur à la Sorbonne

MAGNÉTO-OPTIQUE

Mme Pierre CURIE

Professeur à la Sorbonne
Prix Nobel de Physique
Prix Nobel de Chimie

RADIOACTIVITÉ ET PHYSIQUE NUCLÉAIRE

Véra DANTCHAKOFF

Ancien Professeur à l'Université Columbia
(New-York)

Organisateur de l'Institut
de Morphogénèse Expérimentale
(Moscou Ostaukino)

LA CELLULE GERMINALE DANS L'ONTOGÉNÈSE ET L'ÉVOLUTION

E. DARMOIS

Professeur à la Sorbonne

CHIMIE-PHYSIQUE

K. K. DARROW

Bell Telephone Laboratories

CONDUCTIBILITÉS DANS LES GAZ

Arnaud DENJOY

Professeur à la Sorbonne

THÉORIE DES FONCTIONS DE VARIABLE RÉELLE

J. DUESBERG

Recteur de l'Université de Liège

BIOLOGIE GÉNÉRALE EN RAPPORT AVEC LA CYTOLOGIE

CATALOGUE SPÉCIAL SUR DEMANDE

B. S. Mahavady

ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES ET INDUSTRIELLES

491

SYSTÈMES DE RÉFÉRENCE ET MOUVEMENTS

(Physique relativiste)

PAR

Augustin SESMAT

Professeur d'Histoire et de Critique des Sciences
à l'Institut Catholique de Paris

VI

LES SYSTÈMES PRIVILÉGIÉS DE LA THÉORIE GÉNÉRALE



PARIS

HERMANN & C^{ie}, ÉDITEURS

6, Rue de la Sorbonne, 6

—
1937

DU MÊME AUTEUR :

(LIBRAIRIE HERMANN)

I. — SYSTÈMES DE RÉFÉRENCE ET MOUVEMENTS

(*Physique classique*)

- I. — Le problème des mouvements réels.
- II. — L'Ancienne astronomie, d'Eudoxe à Descartes.
- III. — Mécanique newtonienne et gravitation.
- IV. — Le système absolu de la mécanique.
- V. — L'optique des corps au repos.
- VI. — L'optique des corps en mouvement.
- VII. — L'esprit de la science classique.

II. — SYSTÈMES DE RÉFÉRENCE ET MOUVEMENTS

(*Physique relativiste*)

- I. — Genèse des théories de la relativité.
- II. — Principes de la théorie restreinte.
- III. — Les systèmes privilégiés de la théorie restreinte.
- IV. — Principes de la théorie générale.
- V. — Théorie relativiste de la gravitation.
- VI. — Les systèmes privilégiés de la théorie générale.
- VII. — Essai critique sur la doctrine relativiste.

Tous droits de traduction, de reproduction et d'adaptation
réservés pour tous pays.

COPYRIGHT 1937 BY LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE HERMANN ET C^{ie},
PARIS.



CHAPITRE IV

LES MODES DE REPÉRAGE PRIVILÉGIÉS DE LA THÉORIE GÉNÉRALE

ARTICLE XIV

ÉQUIVALENCE DE TOUS LES SYSTÈMES DE COORDONNÉES
POUR LA FORMULATION DES LOIS DE L'UNIVERS OBJECTIF

**120. Caractère absolu des événements et de leurs intervalles :
l'Univers, ensemble des événements et de leurs rapports spatio-
temporels.**

Nous venons d'exposer les principes de la théorie de la relativité générale. Il nous reste à envisager cette théorie du point de vue spécial qui est le nôtre : à préciser en quel sens et dans quelle mesure la description relativiste des phénomènes se révèle indépendante du choix des coordonnées spatio-temporelles.

Pour mieux sérier les questions dans notre étude du dynamisme newtonien nous avons opposé l'Univers « objectif », tel qu'il apparaîtrait, avec ses éléments absolus, à un physicien omniscient ; à l'Univers tel que peut le connaître la Physique humaine, avec la part d'éléments relatifs qu'il comporte.

Ici nous procéderons de la même façon ; et nous allons commencer par décrire l'Univers objectif d'Einstein, en nous bornant bien entendu au domaine de la gravitation. Les développements auxquels nous a contraint notre méthode d'exposition vont du reste faciliter grandement notre nouvelle tâche.

Pour savoir quels sont les éléments absolus de l'Univers d'Einstein, recourons encore une fois à l'analogie géométrique : soit une surface, non pas conçue, mais donnée en fait sous la forme d'un assemblage de points ; nous supposons qu'un géomètre peut connaître les points de cette surface et leurs relations, avant tout leurs rapports de distance, soit par intuition directe, soit en se servant de coordonnées, mais que dans ce dernier cas, ne s'arrêtant jamais aux relations des points avec les axes, il s'attache exclusivement à leurs relations entre eux. L'ensemble indissoluble de ces points et de ces relations intrinsèques constitue pour notre géomètre un donné objectif. C'est l'analogie de cela que nous appelons l'Univers objectif d'Einstein.

Nous savons qu'il est un ensemble d'événements relatifs à des particules matérielles, et de rapports spatio-temporels entre ces événements. Les événements sont des absolus, qu'il s'agisse de les concevoir chacun comme telle « position » dans l'E. T. de telle particule, ou de les percevoir sous la forme de rencontres de particules. Leurs rapports, c'est-à-dire les intervalles spatio-temporels qui les séparent deux à deux, sont aussi des absolus. Et c'est là précisément ce qui nous permet de dire que l'ensemble de ces termes, les événements, et de ces rapports, les intervalles, constituent ou contribuent à constituer l'Univers objectif de la théorie.

N'oublions pas d'ailleurs qu'un tel Univers, en dépit de notre analogie géométrique, n'est pas donné comme une chose stable, ni même comme une réalité qui changerait au cours du temps ; c'est une multiplicité spatio-temporelle, *sui generis*, concevable certes, mais inaccessible à notre imagination, car nous ne savons imaginer que le stable, ou du moins une succession de configurations spatiales plus ou moins éphémères. Il faudrait concevoir ici que l'esprit se trouve en présence de la totalité des événements et de leurs intervalles, indépendamment de leur répartition possible dans un espace et dans un temps séparés. De là va découler en grande partie ce que nous allons dire.

121. Substitution des déplacements spatio-temporels aux mouvements classiques. — De même que sur une surface toute suite virtuellement continue de points constitue une ligne, de même dans l'E. T. toute suite virtuellement continue d'événements constitue une « ligne » spatio-temporelle. Notons toutefois que

des événements qui seraient relatifs à des particules diverses seraient en général simplement juxtaposés et que leur suite ne saurait présenter ni véritable continuité ni par le fait intérêt pour le physicien. Au contraire dès qu'il s'agit d'événements relatifs à une même particule leur liaison est garantie, et la signification physique de leur suite devient claire.

De fait les *lignes d'Univers* de la théorie supposent toujours que l'on suive par la pensée dans l'E. T. telle ou telle particule physique. Certes, « ligne d'Univers » est une simple façon de parler : il n'y a de lignes véritables que dans l'espace pur ; mais enfin on conçoit ce que cette expression recouvre : et de même que sur un *diagramme* classique, où l'espace et le temps spatialisé sont séparés, on peut tracer des lignes qui représentent complètement le mouvement d'un point mobile, de même ici la ligne d'Univers d'une particule représente ce qui dans la nouvelle théorie est l'analogue du mouvement de cette particule, c'est-à-dire la suite de ses positions spatio-temporelles avec la loi qui les relie.

Comment désigner d'un mot cette notion nouvelle ? Nous proposons de l'appeler le *déplacement spatio-temporel* de la particule, entendant par là que les divers événements intéressant cette particule occupent parmi la totalité des événements physiques des « positions » spatio-temporelles diverses. Car ce sont bien les événements qui sont « situés » dans l'E. T., et non la particule elle-même, laquelle ne saurait être, en langage strict, que localisée dans l'espace pur. Toutefois la particule conservant toujours son individualité, il nous paraît commode de lui attribuer à elle les positions spatio-temporelles des événements qui la concernent ; c'est ce que nous voulons exprimer en parlant de son déplacement spatio-temporel. On le voit, le mot déplacement n'a pas ici le sens de changement de place au cours du temps, mais le sens spécial que nous venons de préciser. Il a dès lors l'avantage de désigner une réalité de nature relationnelle affectant la particule, comme le mouvement classique affectait le point matériel mobile, et ceci ne peut manquer de faciliter le langage.

122. Déplacements géodésiques et déplacements non-géodésiques. — A toute ligne d'Univers suivie par une particule, ou par un photon, correspond un déplacement spatio-temporel ; mais d'après la théorie de la gravitation une distinction fondamen-

tale s'impose entre les lignes d'Univers géodésiques et les lignes d'Univers non-géodésiques. Nous dirons aussi qu'aux premières correspondent des déplacements spatio-temporels — ou pour abrégé des déplacements — géodésiques ; aux autres des déplacements non-géodésiques.

Pour un physicien qui aurait l'intuition directe des lignes d'Univers, ou des déplacements, le discernement serait facile : de même que dans l'espace pur une géodésique est une ligne dont la direction intrinsèque demeure partout la même, de même dans l'E. T., une géodésique est une ligne d'Univers dont la « direction » spatio-temporelle intrinsèque est toujours et partout la même ; nous savons qu'en géométrie la conservation de la direction intrinsèque se traduit, quand on se réfère à des coordonnées, par le fait que la tangente a une dérivée covariante constamment nulle ; on retrouve l'analogie de ce fait dans l'E. T.

Si maintenant nous voulions rapprocher notre distinction relative aux déplacements d'une distinction analogue relative aux mouvements classiques, voici ce que nous pourrions dire. Soient deux courbes sur une surface, l'une géodésique, l'autre non-géodésique ; nous pouvons les comparer sous le rapport de leur courbure intrinsèque en comparant leurs *images* sur un même plan. Pour préciser ce qu'il faut entendre ici par image, considérons trois points de la surface, A, B et C ; appelons a , b , c , les points de contact avec la surface des plans tangents en A, B et C. Pour tracer sur un même plan, par exemple sur le plan tangent en A, l'image de la figure formée par nos trois points, nous partirons du plan tangent en C ; nous le ferons pivoter sur la surface sans glissement, en imposant au point c de voyager sur la ligne CB, de façon à amener notre plan en coïncidence avec le plan tangent en B. Une fois la coïncidence obtenue, le point c occupera dans le plan tangent en B une position qui sera l'image dans ce plan du point C. De la même façon nous amènerons le plan tangent en B à coïncider avec le plan tangent en A, en faisant voyager le point b sur la ligne BA. Les points b et c occuperont alors dans le plan tangent en A deux positions qui seront les images dans ce plan des points B et C.

Le même procédé, appliqué de proche en proche à toute une suite de points de la surface fournirait l'image dans le plan tangent au dernier de ces points de la ligne qu'il forme avec tous les autres.

Eh bien ! dans ces conditions nous pourrions constater que l'image d'une géodésique est une droite, tandis que l'image de toute autre ligne est une courbe.

Dans l'E. T., on ne peut plus faire pivoter des plans, ni même des E. T. galiléens tangents ; cependant les opérations analytiques qui correspondent aux pivotements gardent leur sens ; aussi peut-on parler encore par analogie de l'image dans un même E. T. galiléen tangent des lignes d'Univers de l'E. T. non-galiléen : l'image d'une géodésique serait alors une droite d'Univers dans l'E. T. galiléen ; l'image d'une autre ligne y serait une courbe. Mais dans un E. T. galiléen une droite d'Univers représente un mouvement r. et u. ; tandis qu'une courbe représente un mouvement accéléré. Donc nous sommes en droit de dire que *dans un E. T. quelconque les déplacements géodésiques correspondent aux mouvements r. et u. — ou aux mouvements d'inertie — qu'ils généralisent, tandis que les déplacements non-géodésiques correspondent aux anciens mouvements accélérés.*

Si au lieu de considérer les déplacements seulement en eux-mêmes on tient compte de leurs causes, on sera conduit à dire que les déplacements géodésiques sont en général ceux des points matériels libres, c'est-à-dire soumis à la seule gravitation, ou encore ceux des photons dans le vide ; et que les déplacements non-géodésiques sont ceux de particules soumises à des forces, mécaniques ou é. m., ou de photons voyageant dans un milieu dispersif.

123. Différence de courbure d'une région à l'autre de l'E. T. —

C'est par analogie avec la géométrie des surfaces rapportées à l'espace tridimensionnel que nous avons pu parler d'une courbure, variable d'une région à l'autre, de l'E. T.

Cependant du seul point de vue intrinsèque, on peut définir en tout point d'une surface une grandeur qui a précisément même mesure que sa courbure totale en ce point par rapport à l'espace ; certaines opérations géométriques intrinsèques et formant un *cycle* — portant par exemple sur tous les éléments d'une courbe fermée — permettraient même de mesurer directement la courbure de la surface en un point quelconque, et par suite de déceler ses différences de courbure d'une région à une autre.

De même dans l'E. T. gravitationnel on peut définir en tout

« point » un tenseur de courbure, qui change de valeur en général d'un point à l'autre. On pourrait sans doute définir aussi des cycles d'opérations qui donneraient par mesure directe la valeur en un point quelconque de la courbure, et révéleraient ses différences d'un point à un autre.

Ces différences de courbure sont donc objectives ; toutefois il ne faudrait pas croire qu'elles puissent se manifester dans les déplacements spatio-temporels de gravitation considérés en eux-mêmes. Qu'une particule, en effet, grave dans une région galiléenne ou dans une région non galiléenne de courbure quelconque, toujours elle suivra une géodésique de l'E. T. ; or les déplacements géodésiques étant caractérisés du point de vue intrinsèque par le fait que les lignes d'Univers correspondantes ont une « tangente » à dérivée covariante constamment nulle, ils présenteront partout ce caractère, et par suite n'apprendront rien à qui les observe exclusivement sur les différences de courbure de l'E. T. suivant les régions, bien que ces différences soient réelles.

124. Mie et la définition extrinsèque de la courbure. — Quand on a affaire à une surface courbe l'étude de sa courbure est plus intuitive et plus aisée si au lieu de l'étudier intrinsèquement on la rapporte à l'espace tridimensionnel. L'avantage de ce procédé est qu'il est un retour à la géométrie euclidienne, géométrie *privilegiée*, quoi qu'on en ait dit, du fait de la simplicité plus grande de ses lois ; et tellement privilégiée que les nouveaux géomètres la supposent, du moins implicitement, localement valable en tout point de leurs espaces non-euclidiens.

Ne pourrait-on procéder d'une manière analogue pour étudier l'E. T. gravitationnel, c'est-à-dire se référer à une multiplicité spatio-temporelle non courbe à plus de quatre dimensions, dont l'E. T. d'Einstein serait une variété courbe, comme la surface d'un ellipsoïde par exemple est une variété courbe de l'espace ordinaire ?

C'est ce que Mie a voulu faire ⁽¹⁾. Le continuum « euclidien »

⁽¹⁾ Gustave Mie : *La théorie einsteinienne de la gravitation*, 1 vol., Paris, 1922. Note des traducteurs relative à un mémoire publié par l'auteur dans les *Annalen der Physik* (t. LXII, 1920, p. 46), p. 107-118.

auquel il rapporte l'E. T. d'Einstein a dix dimensions, car dans le cas général un espace de Riemann à n dimensions peut être présenté comme une variété d'un espace euclidien à $\frac{n(n+1)}{2}$ dimensions. Dans ce continuum, Mie peut définir la projection orthogonale des points de l'E. T. d'Einstein sur une certaine variété à quatre dimensions constituant elle-même un E. T. galiléen de Minkowski, de même qu'on peut définir dans l'espace tridimensionnel la projection de tous les points d'une sphère par exemple sur un plan. Or il est possible d'étudier la sphère, et d'exprimer son dl^2 , en fonction des projections de ses points sur le plan et des distances de ces projections aux points projetés ; c'est équivalentement ce que l'on fait quand on écrit l'équation de la sphère $z = f(x, y)$, le plan des x, y étant celui où s'est faite la projection.

Mie procède d'une manière analogue pour étudier l'E. T. d'Einstein et écrire son ds^2 . Il emploie dans l'E. T. galiléen à quatre dimensions où la projection est faite des coordonnées orthogonales séparant le temps de l'espace ; et, traitant le cas d'une seule masse attirante immobile à l'origine des coordonnées d'espace, il retrouve le ds^2 de Schwarzschild.

Ce travail de Mie présente en lui-même un grand intérêt, d'autant qu'il facilite l'interprétation des coordonnées de Schwarzschild. Mais il faut bien avouer qu'il est difficile d'attribuer à cette multiplicité à dix dimensions une réalité objective, étant invraisemblable que les lois de notre E. T. à quatre dimensions dépendent de lois plus simples valables seulement dans un Univers beaucoup plus complexe.

En tout cas une telle interprétation serait sûrement contraire à l'esprit de la théorie d'Einstein, car cette théorie prétend bien limiter les propriétés réelles de l'E. T. à celles qu'on peut déduire de son ds^2 , tandis que le procédé de Mie conduirait à lui en attribuer d'autres.

125. Transformation des problèmes classiques relatifs aux mouvements, aux systèmes de référence et à la composition des mouvements. — Mouvement relatif à tel système de référence, systèmes divers par rapport auxquels le mouvement d'un point peut être défini, composition du mouvement d'un point relativement à un système mobile et du mouvement de ce système, de

manière à obtenir le mouvement résultant du point par rapport au système fixe, toutes ces notions classiques sont solidaires. S'il n'y a plus de mouvement au sens classique, c'est qu'il n'y a plus de système de référence ; et la disparition de ces deux notions doit supprimer aussi le problème de la composition des mouvements.

Or il s'agit bien d'une disparition : dans un E. T. galiléen on pouvait toujours revenir du déplacement spatio-temporel au mouvement classique, parce qu'on pouvait toujours choisir des coordonnées équivalentes, rigoureusement, à un système de référence. Dans un E. T. non galiléen c'est impossible, strictement parlant ; et l'Univers ne comporte plus de mouvements au sens classique, mais seulement des déplacements spatio-temporels.

Dès lors les problèmes auxquels nous nous étions attaché dans tout notre travail : discernement des mouvements réels et des mouvements apparents, opposition du système de référence absolu aux systèmes de référence mobiles, distinction et composition des mouvements relatifs et des mouvements d'entraînement, tous ces problèmes perdent leur sens strict dans la nouvelle théorie, ou font place à des questions nouvelles. Voyons ce qu'il en est du point de vue de l'Univers objectif.

126. La géométrisation des lois conduit à ne décrire que des déplacements réels. — Les lignes d'Univers et les déplacements spatio-temporels qui leur correspondent sont définis en droit par rapport à l'ensemble des événements physiques affectant toutes les particules matérielles, de même que les courbes d'une surface sont définies intrinsèquement par rapport à l'ensemble des points de cette surface.

Cette relation immédiate des déplacements spatio-temporels aux événements physiques confère à ces déplacements un caractère nécessairement absolu qui les oppose de ce chef aux mouvements classiques.

Mouvement se disant par rapport à tel ou tel système de référence, un même point matériel pouvait avoir en même temps des mouvements divers relativement à différents systèmes : d'où la question de savoir lequel de ces mouvements était réel, lesquels n'étaient qu'une apparence, contre-partie du mouvement du système adopté par rapport au système privilégié.

Au contraire tous les déplacements spatio-temporels se définissent par rapport à un seul et même *repère*, à savoir l'ensemble des événements, repère qui est en un sens l'analogue de ces positions initiales de repos de toutes les masses qui selon nous permettent de définir le système de référence absolu Σ , et relativement auquel les déplacements sont tous réels, comme étaient réels tous les mouvements classiques relatifs au système absolu.

On pourrait ici se demander si l'usage de coordonnées d'E. T., qu'on suppose toujours quelconques dans la théorie, ne va pas à l'encontre de la définition absolue des lignes d'Univers et des déplacements. Mais non, car précisément la forme tensorielle des lois, en particulier le caractère tensoriel des équations des géodésiques, fait que l'usage des coordonnées n'est jamais qu'un moyen sans influence sur le résultat : dès qu'on recherche exclusivement ce qui est absolu, comme nous le supposons dans tout cet article, on ne s'arrête jamais à ce qui différencie les différents systèmes, et l'on va toujours à ce que les coordonnées servent à exprimer d'absolu, en l'espèce les lignes d'Univers et les déplacements correspondants. Autrement dit ces déplacements se présentent toujours comme des réalités de l'Univers objectif.

De ce point de vue il n'y a pas lieu de se demander si et comment deux déplacements d'une même particule peuvent se composer : de même que relativement au système Σ une même particule n'avait jamais qu'un mouvement, de même ici par rapport à l'E. T. global une particule n'a jamais qu'un déplacement.

Toutefois en mécanique classique, et même du point de vue de Σ , on pouvait se demander comment les diverses forces appliquées en même temps à un même point matériel contribuaient à déterminer son mouvement absolu unique : c'était le problème de la composition des forces, sinon des mouvements. Le problème analogue serait dans la nouvelle théorie de la gravitation celui de la combinaison en un point donné des potentiels dus à deux masses attirantes. Disons seulement que ce problème est plus difficile à résoudre que le problème classique correspondant. La raison en est que le potentiel classique était additif, tandis que celui d'Einstein ne l'est pas, si bien qu'on ne saurait déduire le potentiel résultant en un point par simple addition des deux potentiels séparés ; ni calculer par un moyen aussi simple le déplacement d'une petite masse au point considéré.

Enfin la suppression du concept classique de mouvement d'une part, et celle du concept de système de référence d'autre part, rendent sans objet le principe du mouvement relatif, lequel exigeait que tout mouvement d'un corps soit défini par rapport à d'autres corps, et que toute déformation des phénomènes par le mouvement de l'observateur soit attribuée à un mouvement relatif.

Ce qu'on peut dire c'est que la première partie du principe se retrouve, transposée, dans cette thèse que tout déplacement spatio-temporel d'une particule est toujours relatif à l'ensemble des événements concernant les autres particules. Quant à la seconde proposition elle suppose des observateurs non privilégiés, ce qui est exclu du point de vue de l'Univers objectif où nous nous plaçons présentement. Cependant nous retrouverons la question, quelque peu transformée, à l'article suivant.

127. Tous les systèmes de coordonnées spatio-temporelles sont équivalents pour l'expression des lois de l'Univers objectif : formulation covariante des lois absolues. — Supposons que notre Univers objectif soit étudié au moyen de coordonnées d'E. T. Les lois de cet Univers étant toutes tensorielles d'après la théorie, et leurs formules étant nécessairement covariantes, les lois elles-mêmes demeurent les mêmes quelles que soient les coordonnées utilisées.

Nous savons ce qu'il faut entendre par covariance des lois : il ne s'agit plus comme dans la théorie restreinte de la conservation de la *forme des équations*, dans telle catégorie de systèmes de référence, quand on utilise dans tous des coordonnées du même genre, mais seulement de la conservation des relations en quoi consistent les lois, les termes de ces relations s'exprimant différemment suivant les coordonnées choisies.

C'est ainsi que le ds^2 d'un E. T. galiléen, qui n'aura pas la même forme en coordonnées cartésiennes et en coordonnées polaires, présentera cependant dans les deux cas ce caractère essentiel, qui suffit à déterminer objectivement l'E. T. galiléen, que le tenseur de Riemann-Christoffel déduit de ce ds^2 sera nul. De même le tenseur gravitationnel du vide, $E_{\mu\nu}$, changera d'expression suivant les systèmes de coordonnées ; mais dans tous les systèmes sa valeur sera nulle, ce qui le caractérise essentiellement.

Donc tant qu'on se borne à exprimer les lois de l'Univers objectif, ce que nous supposons ici, il y a équivalence parfaite de tous les systèmes de coordonnées.

128. La théorie générale n'est pas la simple généralisation de la théorie restreinte. — La théorie de la relativité restreinte peut se résumer en deux points : identité de forme des équations fondamentales dans tous les systèmes d'inertie quand le genre des coordonnées reste le même, et relativité des translations r . et u . Une véritable généralisation de cette théorie aurait conduit : 1° à n'énoncer que des lois physiques dont la forme avec tel genre de coordonnées demeure la même pour tous les systèmes de référence, même accélérés ; 2° à proclamer en conséquence la relativité des accélérations.

La Physique classique ayant mis en évidence le privilège des systèmes d'inertie, une telle généralisation était de ce chef impossible, car le privilège en question est un fait positif acquis qu'aucune théorie physique ne saurait méconnaître sans se disqualifier.

Aussi bien, la théorie de la relativité générale ne répond pas aux deux points énoncés, puisqu'elle ne formule plus les lois physiques par rapport à tel ou tel système de référence, et n'admet plus dans son sens classique la notion de système accéléré. Du reste, sur le premier point, ayant substitué aux systèmes de référence des systèmes de coordonnées spatio-temporelles, elle parvient bien à formuler les lois objectives de façon covariante ; mais, nous venons de le rappeler, covariance ne signifie pas conservation de la forme des équations.

Bref, en dépit des mots, la théorie générale ne prolonge pas et n'achève pas la théorie restreinte dans son contenu propre. Quel est donc le véritable lien entre les deux théories ? Pour le découvrir il faut envisager la théorie restreinte dans sa formulation spatio-temporelle, due à Minkowski : de ce point de vue la théorie générale s'oppose à la théorie restreinte, et la généralise, comme la géométrie riemannienne s'oppose à la géométrie euclidienne et la gravitation à l'inertie, ni plus ni moins.

Nous verrons sans tarder d'ailleurs qu'à condition de transposer, on peut retrouver dans la théorie d'Einstein l'équivalent du problème de la généralisation véritable de la théorie restreinte,

mais que, précisément, sous ce rapport la physique relativiste tout comme la physique classique est contrainte en dépit de son nom de proclamer ladite généralisation radicalement impossible.

ARTICLE XV

PRIVILÈGE DE CERTAINS SYSTÈMES POUR LA DESCRIPTION DE L'UNIVERS OBSERVABLE

129. Les relations spatio-temporelles entre les événements sous leur forme générale échappent à nos observations. — Après avoir décrit l'Univers objectif d'Einstein avec ses éléments absolus nous devons nous demander si et comment cet Univers est accessible à nos observations. La question du raccord des éléments théoriques et des données expérimentales se pose au sujet de toute théorie physique ; elle se pose *a fortiori* et d'une façon plus impérieuse au sujet de la théorie relativiste selon laquelle la réalité objective est très différente de ce que croyaient les classiques.

Il est de mode chez les physiciens relativistes d'insister avec complaisance sur le caractère absolu des *événements* et sur ce fait que nos observations, en Physique, se ramènent en fin de compte à la constatation de rencontres spatio-temporelles de particules ; mais trop souvent on se contente de ces deux remarques faciles, comme si elles suffisaient à établir que l'Univers relativiste est parfaitement observable. En fait il n'en est rien : avec des rencontres de particules aussi nombreuses qu'on voudra on n'aura jamais qu'une poussière d'événements ; or un monde est tout autre chose : c'est un ensemble d'événements liés par certaines *relations* aussi réelles qu'eux ; et pour qu'un Univers soit observable il faut que ces relations non moins que leurs termes soient accessibles aux observations.

Les rapports objectifs qui selon la théorie relient entre eux les événements physiques sont des rapports spatio-temporels : sont-ils observables tels quels, pour nous ? Non ; et c'est précisément ce qui complique le problème de raccordement dont il était question ci-dessus.

Pour connaître les rapports entre des événements observables

il faut savoir situer tous ces événements les uns par rapport aux autres ; or nous ne savons pas situer les événements les uns par rapport aux autres dans l'E. T. ; nous ne savons les situer que séparément dans le temps et dans l'espace, et encore, dans un certain temps, et même, quand il s'agit d'Astronomie, dans un certain système de référence spatial.

Les événements situés dans ce temps et dans cet espace, avec leurs relations temporelles et spatiales, tel est donc l'Univers observable pour nous. Les éléments de cet Univers doivent sans doute entretenir avec les éléments de l'Univers objectif théorique des rapports déterminés, de même que par exemple les systèmes de référence concrets des classiques pouvaient en droit se rattacher au système objectif absolu Σ . Mais c'est un gros problème de préciser ces rapports, et moins que toute autre la théorie de la relativité ne peut s'en désintéresser, elle qui prétend volontiers se conformer aux exigences d'un positivisme strict.

En nous bornant dans l'article précédent à la considération de l'Univers objectif nous écartions par le fait ce problème ; revenant ici à la Physique humaine et à l'Univers observable, nous le retrouvons dans toute son acuité. L'ayant écarté provisoirement, nous pouvions admettre la thèse relativiste de l'équivalence de tous les systèmes de coordonnées ; obligés maintenant de le réintroduire, nous allons voir réapparaître avec lui, à peine transformée, la thèse classique des systèmes privilégiés.

130. L'Univers observable d'Einstein et les systèmes de coordonnées qu'il impose. — Einstein a parlé quelque part d'un « mollusque de référence », système de coordonnées qui présenterait, sur des coordonnées spatio-temporelles absolument quelconques, l'avantage de conserver la séparation entre l'espace et le temps. Un mollusque de référence serait un ensemble de points matériels constamment en train de se déformer, et portant, liées à chacun de ses points, des horloges de marche arbitraire ; la seule condition à laquelle seraient soumises les variations de distance entre points très voisins ainsi que les variations de marche entre horloges très voisines serait la condition très générale de continuité⁽¹⁾.

(1) A. Einstein : *La théorie de la Relativité restreinte et généralisée*, traduite par M^{lle} J. Rouvière. Paris, 1921, chap. xxviii, p. 86.

Un tel système de référence serait-il utilisable dans notre Physique humaine ? En aucune façon : nos mesures de distance supposent des corps rigides, ou à très peu près ; nos mesures de durées supposent des horloges à marche aussi régulière que possible. Hors de là il est à peu près impossible de concevoir comment nous pourrions pratiquement situer les uns par rapport aux autres dans l'espace et dans le temps les événements physiques.

D'autre part nous ne sommes pas libres de choisir pour nos mesures de distances des corps à peu près rigides quelconques : la Terre d'une part, l'ensemble des étoiles d'autre part, s'imposent à nous comme repères spatiaux.

Aussi faut-il de toute nécessité, si nous prétendons confronter la théorie d'Einstein avec les faits, que nous adoptions des coordonnées qui non seulement séparent le temps de l'espace, mais qui de plus présentent certains rapports privilégiés avec nos moyens d'observation.

Des coordonnées séparant le temps de l'espace et qui dans tel problème particulier, par exemple dans le cas de Schwarzschild, équivalent autant que faire se peut à l'emploi d'un système de référence classique : voilà ce qu'impose impérieusement au physicien relativiste la considération de l'Univers observable. Des coordonnées de ce type présentent déjà en bloc, par rapport aux coordonnées générales d'E. T., un véritable privilège qu'on peut qualifier de pratique. Mais il y a plus : car c'est l'emploi de telles coordonnées précisément qui réintroduit d'emblée en physique — bien que sous forme généralisée — les notions de temps universel, de mouvement et de système de référence, avec tous les problèmes qui s'y rattachaient, et — nous allons le montrer — les solutions classiques de ces problèmes.

131. Généralisation des notions classiques de temps, de repos, de mouvement et de système de référence. — Nous ne pouvons mieux faire que de nous référer à notre interprétation des variables r , θ , φ et t de Schwarzschild (nos 106 et suivants) pour illustrer les notions nouvelles que nous cherchons à définir.

La variable t est purement temporelle ; elle n'est pas le temps marqué par les horloges, mais elle est définie univoquement en tout point du champ créé dans l'espace par la masse attirante M : nous dirons que t est dans le problème de Schwarzschild un *temps*

généralisé ; temps généralisé parce que d'une part t , dans le cas d'une masse M négligeable et d'un E. T. galiléen, serait le temps ordinaire ; et que d'autre part t peut jouer dans la description des phénomènes relatifs au champ le rôle de variable temporelle indépendante, rôle tout à fait analogue à celui du temps classique.

Par rapport à t ainsi considéré, nous pouvons dire que la masse M est immobile à l'origine des coordonnées d'espace : cette fixité en un même point au cours du temps t sera un *repos généralisé*. Un ensemble de points immobiles, au cours du temps t , par rapport à M , feront partie d'un espace non-euclidien dans lequel les coordonnées purement spatiales r , θ et φ définiront un *système de référence généralisé*.

Par rapport à ce système un point matériel soumis au champ aura un *mouvement généralisé* ; c'est-à-dire que pour une suite continue de valeurs de t il occupera dans le système en question une suite de positions variant d'une façon continue ; enfin l'ensemble de ces positions constituera pour le point une *trajectoire généralisée*, définie dans l'espace non-euclidien servant de système de référence.

Toutes les notions classiques relatives au mouvement se retrouvent ainsi *dans la théorie*, un peu modifiées, mais quant à l'essentiel parfaitement reconnaissables. Si l'on pouvait utiliser telles quelles et concrètement les coordonnées, r , θ , φ et t , on retrouverait ces mêmes notions, pareillement transformées, *sur le terrain des observations* : en fait, nous l'avons vu, si θ et φ gardent rigoureusement leur signification de directions définies par rapport à l'ensemble des étoiles, on est réduit à n'identifier qu'à peu près t et le temps mesurable, ainsi que r et les distances radiales mesurables. Néanmoins, une fois admise cette identification hautement approchée, on a rejoint — sous réserve de leur généralisation — les notions classiques de système de référence et de mouvement. Et on les a rejointes, insistons-y, par la force des choses, puisque autrement le contrôle expérimental de la théorie eût été impossible.

Aussi bien Einstein ni aucun de ses disciples ne pourraient songer à nier que l'avance observable du périhélie de Mercure, par exemple, ou la déviation observable des rayons lumineux près du soleil, n'impliquent notre définition des mouvements généralisés.

Mais par le fait même les problèmes classiques reparaissent : ces coordonnées de Schwarzschild ne sont-elles pas privilégiées ? Le choix d'un autre système, bien qu'il ne doive pas, nous le savons, modifier le champ objectif créé par la masse M , n'entraînerait-il pas pour un point matériel ou pour un photon une autre trajectoire et une autre loi de mouvement ? A ces deux questions nous allons être obligés de répondre par l'affirmative.

132. Privilège des coordonnées de Schwarzschild par rapport auxquelles le champ est statique. — La masse M étant fixe au cours du temps t dans l'espace r, ϑ et φ , cet espace jouant dans le problème le rôle de système fondamental au sujet duquel la question de repos ou de mouvement ne peut se poser, et le champ ne dépendant que de la masse M , le mouvement généralisé d'un point gravitant rapporté au système de référence r, ϑ, φ se trouve rapporté par le fait même à son repère naturel, au même titre que le mouvement classique d'un point attiré par un seul centre fixe a pour repère naturel un système d'inertie lié à ce centre ; repère naturel, disons-nous, parce qu'il exclut toute accélération — et même toute vitesse — parasite du point mobile, et met en évidence le mouvement de ce point tel qu'il résulte de la seule loi de gravitation. C'est bien là pour le système r, ϑ, φ un privilège, que rendra plus évident par contraste la considération d'un autre système de coordonnées.

Supposons qu'on veuille exprimer le ds^2 de l'E. T. créé par la masse M à l'aide de nouvelles coordonnées d'espace, $r' \vartheta' \varphi'$: corrélativement il faudra une nouvelle coordonnée de temps, t' , car, pour que soit séparé le temps de l'espace, t' devra toujours être orthogonale aux coordonnées spatiales. Admettons que, au cours du temps t' , les coordonnées d'espace tournent uniformément par rapport à l'un des systèmes d'inertie qu'on peut définir dans une région très éloignée de M , où l'E. T. est galiléen, ou, dans le problème concret, par rapport aux étoiles : nous n'aurons plus un ds^2 statique ; cependant l'E. T. aura toujours même courbure, et les nouvelles équations des géodésiques seront équivalentes aux anciennes. Mais si nous traduisons le déplacement géodésique d'un point matériel soumis à l'influence de la masse M — ou de la planète Mercure sous l'action du soleil — en un mouvement généralisé rapporté au nouveau système de référence — système en rota-

tion uniforme, — il est évident que le mouvement de la planète ne sera plus le même que précédemment : il se trouvera compliqué de la contre-partie du mouvement de rotation des nouveaux axes, comme dans la théorie classique.

Par rapport à ce système tournant, donc, le mouvement généralisé de Mercure se présentera comme un mouvement résultant composé d'un mouvement de gravitation réel et d'un autre mouvement, simplement apparent. Corrélativement, si lesdits axes tournants se trouvaient liés en fait à un corps matériel — par exemple à la masse du soleil supposée rigide —, la rotation de cette masse serait elle-même une rotation réelle par rapport aux étoiles ; sa réalité se manifesterait ici par la déformation qu'elle impose au mouvement propre de la planète. Nous pouvons imaginer des coordonnées d'E. T. telles que leur choix corresponde à l'usage de la Terre en translation — et abstraction faite de son mouvement diurne — comme système de référence : alors Mercure présentera par rapport à ce système la marche compliquée des planètes inférieures, avec leurs variations de vitesse et même leurs rétrogradations apparentes ; et cette complication se résoudra toujours par l'affirmation de la réalité de deux mouvements, le mouvement relativement simple de Mercure, et le mouvement de la Terre sur son orbite.

Ainsi, *aux coordonnées de Schwarzschild correspond un système de référence privilégié pour les mouvements généralisés de gravitation dans le champ de la masse M.* Mais est-ce que ce privilège, qui résulte du fait que le dit système équivaut à un système inertiel, ne se serait pas laissé déjà deviner à la forme particulière que présentent avec ces coordonnées le ds^2 , le tenseur d'Einstein et les équations des géodésiques ? Bien sûr ; car cette forme est précisément plus simple avec les coordonnées de Schwarzschild qu'avec toutes les autres ; en particulier avec ces coordonnées, le ds^2 reprend à distance très grande de M sa forme la plus simple en coordonnées polaires. Sans doute cette simplicité privilégiée était sans intérêt du point de vue de l'Univers objectif ; pourtant — nous le voyons — elle était l'indice d'un privilège réel relatif aux mouvements généralisés de l'Univers observable.

133. Equivalent de l'ancienne distinction entre systèmes accélérés et systèmes d'inertie. — On pourrait sans doute étendre au cas de plusieurs masses attirantes ce que nous venons d'établir dans le cas d'une masse unique. Peut-être cela supposerait-il qu'on sache définir le centre de gravité de ces masses ; qu'on adopte comme temps généralisé universel une variable pour les différentes valeurs de laquelle ledit centre de gravité aurait des coordonnées d'espace constantes, et qu'on entende par mouvements généralisés les changements de position au cours de ce temps : aux mathématiciens de voir ce qu'il en est.

En tout cas à supposer que cela soit, nous pourrions dire, en étendant les conclusions qui précèdent, que tout système de coordonnées d'E. T. correspondant à un système de référence généralisé inertique sera privilégié pour la description des éléments du champ et pour l'expression des mouvements de gravitation, qu'il manifestera sous leur forme simple ; et qu'en revanche tout système de coordonnées correspondant à un système de référence accéléré entraînera une complication des éléments du champ, et une déformation des mouvements qui traduira l'accélération du système adopté.

En mécanique classique, on pouvait expliquer fictivement le mouvement d'un point matériel rapporté à un système accéléré en introduisant à côté des forces réelles des forces d'inertie convenables. L'analogie se retrouve dans la théorie d'Einstein, en ce sens que si, interprétant en première approximation le nouveau champ de gravitation comme un champ de forces, on analyse ce champ tel qu'il apparaît avec des coordonnées correspondant à un système accéléré, on y découvrira à côté du champ de gravitation réel dû à la présence des masses attirantes — et qui apparaîtrait seul avec des coordonnées privilégiées, — un champ de gravitation fictif, dont l'effet serait précisément de tendre à imposer aux masses la contrepartie des mouvements accélérés du système. Ce champ fictif équivaut aux forces d'inertie classiques. Jean Becquerel l'appelle *champ géométrique* (on pourrait dire aussi cinématique), par opposition au *champ absolu ou permanent*.

Mais inutile de dire que la pseudo-explication n'est pas plus conforme à la réalité objective dans la nouvelle théorie que dans l'ancienne : la véritable explication du mouvement du point rapporté au système accéléré requérant toujours d'une part le champ

de gravitation absolu pour le vrai mouvement gravifique, d'autre part l'accélération déformatrice du système adopté.

Qu'on se place au point de vue de la seule description systématique donc, ou au point de vue de l'explication des mouvements généralisés, le privilège classique des systèmes d'inertie sur les systèmes accélérés a son analogue dans la théorie générale d'Einstein. Le caractère absolu des accélérations observables y est maintenu, par contraste avec le caractère relatif des translations r . et u . observables. Et comment pourrait-il en être autrement sans que la théorie soit fausse, puisque, nous le répétons, il s'agit ici de thèses classiques éprouvées et qui ne font que traduire des faits positifs ?

134. L'ensemble des masses, repère spatial absolu pour tous les mouvements généralisés. — Pour achever théoriquement la conception newtonienne du monde sans faire intervenir un espace absolu, nous avons été conduits à concevoir le système Σ comme déterminé par l'ensemble des positions absolument initiales de repos de toutes les masses ; nous avons montré ensuite comment grâce à la considération du centre de gravité de tout l'Univers une science supposée achevée des phénomènes de gravitation permettrait de situer par rapport aux étoiles le système Σ ainsi défini théoriquement (n° 5).

Pouvons-nous retrouver l'équivalent de cela dans la théorie d'Einstein ou dans son prolongement ?

D'abord nous ne voyons aucune raison qui du point de vue relativiste nous empêche de maintenir l'idée d'un monde fini à tous égards, d'un premier moment de son histoire, et par conséquent de positions de repos et absolument premières des masses, déterminant un système absolu théorique.

Comme pour les Newtoniens ce système demeure inaccessible à nos observations, bien entendu ; et la question se pose de ses relations avec les systèmes de référence concrets qui sont au moins en principe à notre portée.

La réponse est évidemment liée à la conception qu'on se fait du monde dans son ensemble : si l'Univers était dans son ensemble galiléen et l'espace euclidien, peut-être pourrait-on, en généralisant les théorèmes classiques relatifs au centre de gravité du système total des masses et à l'absence de tout mouvement d'ensemble

de ce système, situer encore en principe, comme nous l'avons dit du point de vue classique, le système Σ par rapport à telles étoiles. Mais cette première hypothèse ayant été écartée par Einstein, nous nous placerons de préférence au point de vue d'un *monde spatial fermé*. La structure globale « sphérique » de ce monde exclut tout point privilégié ; en particulier interdit de parler d'un centre de gravité de l'ensemble des masses. Alors pour définir le temps cosmique il faut, à la façon d'Einstein, faire abstraction d'abord des mouvements propres des masses, considérer toutes leurs lignes d'Univers comme statistiquement parallèles, adopter comme temps universel une coordonnée qui soit seule à varier le long de ces lignes, et revenant ensuite aux mouvements propres les définir relativement à ce temps et relativement à l'ensemble des masses considérées comme jouissant d'un repos statistique. A part la substitution des mouvements généralisés aux mouvements classiques, on retrouve ainsi la conception de Mach, pour qui les mouvements réels des corps étaient leurs mouvements par rapport à l'ensemble des étoiles. Il est juste de souligner d'ailleurs ce que cette conception présente d'imprécis aussi bien dans la nouvelle théorie que dans celle de Mach.

Retenons cependant une chose de ce qui précède : c'est qu'en toute hypothèse la théorie relativiste est amenée à maintenir avec plus ou moins de rigueur l'idée d'un repère spatial absolument privilégié pour tous les mouvements de l'Univers, et corrélativement à reconnaître le caractère « absolu » des mouvements relatifs à ce repère.

135. Phénomènes primitifs et phénomènes déformés dans la théorie générale d'Einstein. — Nous avons parlé déjà de la distinction entre phénomènes primitifs et phénomènes déformés : notre étude actuelle va nous conduire à préciser cette distinction. Du point de vue classique elle peut tenir à deux causes, ce qui permet de répartir en deux groupes les phénomènes déformés.

Dans un premier groupe, les phénomènes primitifs étant ceux qui apparaissent aux observateurs privilégiés et sont susceptibles d'une explication directe par les lois fondamentales, les phénomènes déformés sont ceux qui apparaissent aux observateurs non privilégiés et ne peuvent s'expliquer vraiment que par le double recours aux lois fondamentales et aux conditions

défavorables dans lesquelles se font les observations : *les déformations, alors, ne sont qu'apparentes.*

Dans un second groupe, les phénomènes primitifs étant ceux qui intéressent des corps dont les relations cinématiques, entre eux ou avec les autres corps, sont particulièrement simples, et pour cette raison relèvent plus ou moins immédiatement des lois fondamentales, les phénomènes déformés — d'une façon *objective* cette fois — intéressent des corps dont les relations cinématiques sont plus compliquées, ce qui exige pour les expliquer qu'on fasse intervenir ces relations en même temps que les lois fondamentales.

Occupons-nous d'abord des déformations du premier groupe, déformations apparentes et dues au mouvement de l'observateur. Si une physique relativiste complète était possible, la distinction dont il s'agit présentement n'aurait plus de sens, puisque, en vertu des postulats d'une telle physique, toutes les lois devraient se révéler les mêmes à tous les observateurs imaginables. En fait si le principe général de relativité est valable pour les lois de l'Univers objectif, il ne l'est pas pour celles de l'Univers observable ; aussi notre distinction a-t-elle toujours sa raison d'être ; et nous avons à la préciser du point de vue de la théorie d'Einstein. Dans cette théorie on expliquera par deux sortes de causes les déformations apparentes des phénomènes : une première cause réside dans le fait que l'observateur se trouve, au sein d'un E.T. supposé non galiléen, loin du phénomène observé, ce qui en général l'obligera à le mesurer mal ; c'est le cas, nous l'avons vu, pour la mesure par un observateur terrestre de raies spectrales d'origine stellaire. L'autre cause est le mouvement généralisé de l'observateur par rapport au système de référence où le phénomène observé est localisable ; nous n'avons pas à revenir sur ce qui relève à ce sujet de la théorie restreinte ; nous avons seulement à dire comment la question se présente dans la théorie générale. C'est du reste assez simple : *à condition de substituer au mouvement ordinaire de l'observateur son mouvement généralisé, la théorie des déformations demeure ce qu'elle était pour les classiques.* Nous avons vu récemment comment le mouvement d'une planète serait déformé aux yeux d'un observateur lié à des axes tournants, ou encore aux yeux d'un observateur terrestre, après correction des effets du mouvement diurne : les déformations seraient analogues

aux déformations classiques correspondantes. De même toute accélération généralisée d'un observateur déformera à ses yeux les phénomènes qui pour un observateur inertique seraient relativement simples : ici se retrouverait, légèrement modifiée en raison du caractère non euclidien de l'espace interstellaire, la théorie de l'aberration en tant que phénomène astronomique observable — (déplacement annuel des étoiles) — et d'une façon générale la théorie de tous les phénomènes mécaniques, optiques ou é. m., supposés vus d'un système de référence accéléré ; et toujours, quoi qu'il en soit de la possibilité d'explications fictives, l'explication vraie consisterait à dissocier le phénomène observé en un phénomène primitif relevant des lois objectives, et en une déformation apparente due simplement au mouvement généralisé de l'observateur.

Si nous passons au second groupe de déformations, nous retrouverons d'abord, comme dans la théorie classique, les phénomènes localisables dans des systèmes accélérés, comme l'expérience de Sagnac, ou comme les effets centrifuges qui se produisent dans un système matériel en rotation ; ensuite nous aurons à signaler, et ceci est spécial à la nouvelle théorie de la gravitation, les anomalies locales que pourraient révéler des opérations formant un cycle fermé dans une région non galiléenne de l'E. T., et qui manifesteraient sa courbure.

Dans tous ces cas il s'agit bien de déformations objectives, qui s'opposent à la forme plus simple que présenteraient les phénomènes soit dans un système d'inertie, soit dans une région galiléenne de l'E. T. ; c'est pour cela que *l'explication requiert en plus des lois fondamentales l'influence du mouvement déformateur, ou, dans l'E. T., de la courbure déformatrice.*

Mais ce que nous voudrions souligner c'est que la théorie générale de la relativité ne se trouve pas sur ce point en meilleure posture que la théorie classique : du moment que le physicien relativiste veut bien s'occuper des phénomènes déformés, il les explique comme tout le monde ; c'est-à-dire qu'il est obligé d'invoquer à côté des causes de la déformation certaines lois d'une simplicité privilégiée, ce qui revient à reconnaître le privilège de certains observateurs, le privilège de certains systèmes de référence, le privilège enfin des lois propres aux régions galiléennes de l'E. T.

136. Exclusion du principe général du mouvement relatif. —

Nous avons noté l'importance historique du postulat que nous avons appelé *principe du mouvement relatif* (n° 8) ; nous avons dit qu'on pouvait le formuler sans restriction, comme Mach y avait songé, ou au contraire le limiter aux translations r. et u. comme l'ont fait certains physiciens pré-relativistes. Nous avons montré par ailleurs qu'il était respecté par la théorie restreinte d'Einstein (nos 60-63) mais sous sa forme limitée, c'est-à-dire abstraction faite des mouvements accélérés.

Pour compléter sur ce point notre exposé, précisons ce que le principe entraînerait s'il était vrai sans restriction, et voyons si sous cette forme absolue il se trouve ou non impliqué dans les thèses de la théorie générale d'Einstein.

S'il était vrai sans réserve, il s'ensuivrait d'une part que les phénomènes intéressant des corps liés à un système accéléré obéiraient toujours aux lois qui règnent dans les systèmes d'inertie, puisque, quel que soit le mouvement d'ensemble du système, les corps en question sont toujours au repos relatif. Or nous venons de voir que cette première conséquence est contredite, même dans la théorie relativiste, par les déformations que subissent les phénomènes localisables dans les systèmes accélérés. Il s'ensuivrait d'autre part que tout phénomène dont la production suppose d'après les classiques l'accélération de tel corps par rapport à tel autre sans réciprocité, par exemple les effets centrifuges terrestres qui supposent la rotation de la Terre par rapport aux étoiles, se produirait aussi bien dans le cas de la rotation opposée du second corps par rapport au premier ; comme si par exemple la rotation en sens contraire de celle d'un volant imposée à certains corps extérieurs, le volant n'étant plus mis en branle, suffisait à faire naître dans ce volant les mêmes effets que sa propre rotation ; ou comme si la visée de la Terre par un observateur supposé fixé à une étoile devait entraîner pour cet observateur une aberration annuelle égale et opposée à l'aberration de l'étoile vue de la Terre.

Or pas plus que la précédente cette conséquence n'est admise dans la théorie générale d'Einstein : dans la mesure où l'on peut encore parler dans cette théorie de mouvements accélérés, ces mouvements sont *absolus*, et les déformations qu'ils entraînent dans les phénomènes sont dus sans ambiguïté ni réciprocité à

l'accélération réelle d'un seul des deux corps intéressés, contrairement au principe général du mouvement relatif. Décidément, en ce qui concerne les mouvements généralisés la théorie dite de la relativité générale ne mérite pas son nom.



TABLE DES MATIÈRES

Les systèmes privilégiés de la théorie générale

Pages

ART. 14. — Equivalence de tous les systèmes de coordonnées pour la formulation des lois de l'Univers objectif, nos 120-128.	VI-1
ART. 15. -- Systèmes privilégiés pour la description de l'Univers ob- servable, nos 129-136	VI-12

Saint-Amand (Cher). — Imprimerie R. BUSSIÈRE. — 5-3-1937.



ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES ET INDUSTRIELLES

PUBLIÉES SOUS LA DIRECTION DE MM.



F. ENRIQUES

De l'Académie Dei Lincei

Professeur à l'Université de Rome

**PHILOSOPHIE ET HISTOIRE
DE LA PENSÉE SCIENTIFIQUE**

Ch. FABRY

Membre de l'Institut

Professeur à la Faculté des Sciences

OPTIQUE

E. FAURÉ-FREMIET

Professeur au Collège de France

BIOLOGIE

(Embryologie et Histogénèse)

Ch. FRAIPONT

Professeur à la Faculté des Sciences
de Liège

**PALÉONTOLOGIE
ET LES GRANDS PROBLÈMES
DE LA BIOLOGIE GÉNÉRALE**

Maurice FRECHET

Professeur à la Sorbonne

ANALYSE GÉNÉRALE

M. L. GAY

Professeur de Chimie-Physique

à la Faculté des Sciences de Montpellier

THERMODYNAMIQUE ET CHIMIE

J. HADAMARD

Membre de l'Institut

**ANALYSE MATHÉMATIQUE
ET SES APPLICATIONS**

Victor HENRI

Professeur à l'Université de Liège

PHYSIQUE MOLÉCULAIRE

A. F. JOFFÉ

Directeur de l'Institut Physico-Technique
de Leningrad

PHYSIQUE DES CORPS SOLIDES

A. JOUNIAUX

Professeur à l'Institut de Chimie de Lille

CHIMIE ANALYTIQUE

(Chimie Physique, minérale
et industrielle)

N. K. KOLTZOFF

Directeur de l'Institut de Biologie
expérimentale de Moscou

Membre honoraire R. S. Edinburgh

**LA GÉNÉTIQUE ET LES PROBLÈMES
DE L'ÉVOLUTION**

P. LANGEVIN

Membre de l'Institut

Professeur au Collège de France

I. — RELATIVITÉ

II. — PHYSIQUE GÉNÉRALE

Louis LAPICQUE

Membre de l'Institut

Professeur à la Sorbonne

**PHYSIOLOGIE GÉNÉRALE
DU SYSTÈME NERVEUX**

A. MAGNAN

Professeur au Collège de France

MORPHOLOGIE

DYNAMIQUE

ET MÉCANIQUE DU MOUVEMENT

Ch. MARIE

Directeur de Laboratoire

à l'Ecole des Hautes-Etudes

ÉLECTROCHIMIE APPLIQUÉE

Ch. MAURAIN

Membre de l'Institut

Doyen de la Faculté des Sciences

Directeur de l'Institut de Physique du Globe

PHYSIQUE DU GLOBE

André MAYER

Professeur au Collège de France

PHYSIOLOGIE

Henri MINEUR

Astronome à l'Observatoire de Paris

Maître de Recherches

ASTRONOMIE STELLAIRE

Ch. MUSCELEANU

Professeur à la Faculté des Sciences
de Bucarest

PHYSIQUE GÉNÉRALE ET QUANTA

M. NICLOUX

Professeur à la Faculté de Médecine
de Strasbourg

CHIMIE ANALYTIQUE

(Chimie organique et biologique)

P. PASCAL

Correspondant de l'Institut

Professeur à la Sorbonne et à l'Ecole
Centrale des Arts et Manufactures

CHIMIE

GÉNÉRALE et MINÉRALE

Ch. PÉREZ

Professeur à la Sorbonne

BIOLOGIE ZOOLOGIQUE

CATALOGUE SPÉCIAL SUR DEMANDE



ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES ET INDUSTRIELLES

PUBLIÉES SOUS LA DIRECTION DE MM.



J. PERRIN

Membre de l'Institut
Prix Nobel de Physique
Professeur à la Faculté des Sciences
de Paris

ATOMISTIQUE

Marcel PRENANT

Professeur à la Sorbonne

I. — BIOLOGIE ÉCOLOGIQUE
II. — LEÇONS DE ZOOLOGIE

A. REY

Professeur à la Sorbonne

HISTOIRE DES SCIENCES

Y. ROCARD

Maître de Recherches

THÉORIES MÉCANIQUES
(Hydrodynamique-Acoustique)

R. SOUÈGES

Chef de Travaux
à la Faculté de Pharmacie

EMBRYOLOGIE
ET MORPHOLOGIE VÉGÉTALES

TAKAGI

Professeur à l'Université Impériale de Tokyo

MATHÉMATIQUES GÉNÉRALES

TAMIYA-(HIROSHI)

Membre du Tokugawa Biologiques
Institut-Tokyo

BIOLOGIE (Physiologie cellulaire)

A. TCHITCHIBABINE

Membre de l'Académie des Sciences
de l'U. R. S. S.

CHIMIE ORGANIQUE
(Série hétérocyclique)

Georges TEISSIER

Sous-directeur de la Station
Biologique de Roscoff

BIOMÉTRIE
ET STATISTIQUE BIOLOGIQUE

G. URBAIN

Membre de l'Institut
Professeur à la Faculté des Sciences de Paris

THÉORIES CHIMIQUES

Pierre URBAIN

Maître de Conférences à l'Institut
d'Hydrologie et de Climatologie de Paris

GÉOCHIMIE

Y. VERLAINE

Professeur à l'Université de Liège

PSYCHOLOGIE ANIMALE

P. WEISS

Membre de l'Institut
Directeur de l'Institut de Physique
de l'Université de Strasbourg

MAGNÉTISME

R. WURMSER

Directeur du Laboratoire de Biophysique
de l'École des Hautes-Études

BIOPHYSIQUE

Actualités Scientifiques et Industrielles

Série 1937 (suite) :

466. LÉON BINET et GEORGES WELLER. Le glutathion.....	20 fr.
467. GEORGES MATISSE. La question de la finalité en Physique et en Biologie. I. — Principes généraux. Lois : d'économie, d'extremum, de simplicité.....	10 fr.
468. GEORGES MATISSE. La question de la finalité en Physique et en Biologie. II. — Faits particuliers. Dispositifs et phénomènes présentés par les Êtres vivants. Examen critique des théories.....	18 fr.
469. H. L. MARESQUELLE. Signification générale de la différence sexuelle.....	18 fr.
470. M. COLLIN. L'innervation de la glande pituitaire (Anatomie et Physiologie).....	20 fr.
471. M. ARCAÏ. Les ultrasons et leurs applications.....	15 fr.
472. GEORGES BOURIGN. L'ultraconvergence des séries de Taylor.....	12 fr.
473. M. LACROUTE. Rules d'absorption dans les spectres stellaires.....	20 fr.
474. GASTON RICHARD. La conscience morale et l'expérience morale.....	15 fr.
475. GASTON RICHARD. La Loi morale, les Lois naturelles et les Lois sociales.....	15 fr.
476. L. ESCANDE. Barrages. I. — Calcul des barrages poids à profil triangulaire. Théorie et calculs.....	20 fr.
477. L. ESCANDE. Barrages. II. — Calcul des barrages poids à profil triangulaire. Pratique du calcul. Abaque relatif au cas où N=0,03.....	20 fr.
478. L. ESCANDE. Barrages. III. — Profil optimum de barrage déversoir. Trace aerodynamique des piles.....	20 fr.

LISTE COMPLÈTE A LA FIN DU VOLUME

